

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та вдосконаленням агрегату для післязбирального очищення врожаю»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи АІ-24М-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

_____ Іщенко Володимир Андрійович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван ВАСИЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань Н7 «Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина»

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іщенко Володимира Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та вдосконаленням агрегату для післязбирального очищення врожаю

2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 15.12.2025 р.

4. Мета та завдання дипломної роботи _____

5. Перелік ілюстративного матеріалу _____

Анотація

**Тема: «Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та вдосконаленням агрегату для післязбирального очищення врожаю»
повітряне очищення, компоненти зернової суміші, дрібнонасіннєвий матеріал, ефект очищення, повнота виділення домішок**

У магістерській роботі розглянуто питання підвищення ефективності технології вирощування ріпаку шляхом удосконалення післязбиральної підготовки насіння. Встановлено, що очищення врожаю є одним із ключових етапів вирощування ріпаку, від якого залежать умови зберігання, якість зібраного збіжжя, посівні якості насіння та продуктивність подальших технологічних операцій. Для забезпечення більш стабільних режимів очищення проведено аналіз конструкції аспіратора АСХ-10 та визначено його основні недоліки, що обмежують рівномірність повітряного потоку та якість сепарації легких домішок у дрібнозерновому врожайі ріпаку.

У роботі виконано теоретичні дослідження процесу руху повітряного потоку в аспіраційному каналі, змодельовано розподіл швидкостей та проаналізовано взаємодію повітряного потоку з частинками рослинних домішок. На основі отриманих результатів запропоновано конструктивне вдосконалення аспіратора АСХ-10, яке передбачає оптимізацію геометрії повітряної системи аспіратора та модернізацію джерела повітряного потоку. Це дозволило підвищити рівномірність повітряного потоку та зменшити втрати повноцінного насіння у відходи.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованої модернізації. Доведено, що вдосконалена конструкція аспіратора забезпечує стабільні параметри сепарації та підвищує якість очищення дрібного насіння, зокрема – ріпаку. Результати роботи можуть бути використані під час модернізації зерноочисних відділень фермерських господарств та впровадження енергоощадних технологій у післязбиральній підготовці насіння до зберігання.

Abstract

**Topic: « Mechanization of Rapeseed Cultivation with Research and Improvement of the Unit for Post-Harvest Crop Cleaning »
air cleaning, components of the grain mixture, fine-seed material, cleaning effect, completeness of impurity separation**

The Master's thesis addresses the issue of increasing the efficiency of rapeseed cultivation technology by improving post-harvest seed preparation. It has been established that crop cleaning is one of the key stages in rapeseed cultivation, determining storage conditions, the quality of the harvested grain, the sowing qualities of the seeds, and the productivity of subsequent technological operations. To ensure more stable cleaning modes, the design of the ASX-10 aspirator was analyzed, and its main drawbacks were identified. These shortcomings limit the uniformity of the airflow and the quality of light impurity separation in fine-seed rapeseed crops.

The work includes theoretical studies of the airflow movement process within the aspiration channel, modeling of velocity distribution, and analysis of the interaction between the airflow and particles of plant impurities. Based on the results obtained, a constructive improvement of the ASX-10 aspirator is proposed, which involves optimizing the geometry of the aspirator's air system and modernizing the airflow source. This allowed for an increase in airflow uniformity and a reduction in the loss of valuable seeds into waste.

Experimental studies confirmed the effectiveness of the proposed modernization. It is proven that the improved aspirator design ensures stable separation parameters and enhances the cleaning quality of fine seeds, particularly rapeseed. The results of this work can be utilized during the modernization of grain cleaning units in farms and the implementation of energy-saving technologies in post-harvest seed preparation for storage.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень.....	7
3. Наукова частина	16
4. Практична реалізація результатів досліджень	40
5. Охорона праці	46
6. Висновок	48
Список використаної літератури	50
Додатки.....	53

1. Вступ

Сучасний агропромисловий комплекс України перебуває на етапі активної технологічної трансформації, спрямованої на підвищення ефективності використання земельних ресурсів, енергозбереження та забезпечення стабільних врожаїв високоякісної продукції рослинництва. Одним із важливих напрямів розвитку галузі є механізація технологічних процесів вирощування технічних культур, зокрема ріпаку, який упродовж останніх десятиліть набув значної популярності у фермерів Кіровоградщини. Завдяки високій рентабельності, широкому використанню в харчовій, фармацевтичній та паливній промисловості, ріпак став стратегічною культурою для аграрного сектору України.

Ріпак є універсальною культурою, що має цінні господарські властивості: насіння містить понад 40 % олії, придатної для харчових та технічних цілей, а макуха використовується як високобілковий корм для тварин. Проте ефективність його вирощування значною мірою залежить від якості технологічних операцій на всіх етапах виробничого процесу – від підготовки ґрунту до післязбиральної обробки зібраного врожаю. Особливого значення набуває механізація післязбирального очищення, адже саме на цьому етапі формується якість насіння, його посівні властивості та продовольча придатність.

Сучасні технології передбачають застосування агрегатів, здатних забезпечити достатню якість очищення ріпаку при невисоких енергетичних витратах. Водночас значна частина наявного обладнання у фермерських господарствах морально та фізично застаріла, що призводить до підвищених втрат насіння, його пошкодження, низької продуктивності та нестабільних показників чистоти зібраного врожаю. Тому актуальним завданням є вдосконалення агрегатів для післязбирального очищення врожаю шляхом модернізації пневмосистем серійних машин, підвищення рівномірності повітряного потоку та ефективності розділення домішок різної щільності.

Одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення процесів очищення ріпаку є застосування для цієї культури пневмосепараторів типу АСХ,

які поєднують простоту конструкції з високою продуктивністю. Завдяки регульованим параметрам повітряного потоку такі агрегати забезпечують якісне відділення легких домішок, насіння бур'янів і пошкодженого насіння, що суттєво покращує кондиційність очищеного збіжжя. Водночас потребують дослідження питання оптимізації конструкційних параметрів та режимів роботи пневмосепараторів з урахуванням особливостей насіння ріпаку, його фракційного складу та фізико-механічних властивостей.

Розроблення та впровадження вдосконалених агрегатів для післязбирального очищення ріпаку відповідає сучасним тенденціям розвитку аграрного машинобудування України. Це сприятиме зменшенню втрат урожаю, підвищенню якості насіннєвого матеріалу, зниженню енерговитрат і собівартості готової продукції. Що є особливо важливим для фермерських господарств Кіровоградської області, де середні площі посівів ріпаку становлять від 50 до 200 гектарів, а технічна база часто не забезпечує належного рівня механізації післязбиральних процесів.

Метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності механізованої технології вирощування ріпаку шляхом дослідження та вдосконалення агрегату для післязбирального очищення врожаю, зокрема пневмосепаратора типу АСХ. Для досягнення поставленої мети передбачено проведення аналізу існуючих технічних засобів, теоретичного обґрунтування параметрів робочих органів, експериментальної перевірки вдосконаленої конструкції та оцінки її ефективності.

Отже, у сучасних умовах інтенсифікація технології вирощування ріпаку в фермерських господарствах Кіровоградщини є неможливою без удосконалення процесів післязбирального очищення. Підвищення ефективності цього етапу забезпечує стабільну якість продукції, зменшує втрати, підвищує прибутковість і конкурентоспроможність виробництва.

2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень

Особливості вирощування і використання ріпаку

Ріпак є однорічною олійною культурою, що протягом останніх років посіла лідируючі позиції із виробництва серед інших олійних агрокультур, які вирощуються на території України. У науковій та спеціалізованій літературі культура латиницею називається *Brassica napus L.*, а в побуті досить часто зустрічаються назва «рапс» чи «кольза». У більшості регіонів країни перевагу надають саме озимому ріпаку, оскільки він краще вписується у структуру сівозмін господарств та забезпечує суттєво вищу врожайність порівняно із озимими сортами цієї культури. Додатковою перевагою вирощування ріпаку є стабільний попит на продукцію, яку виготовляють із вирощеної продукції та відносно прогнозоване ціноутворення, що робить вирощування ріпаку економічно вигідним та технологічно обґрунтованим [2...5].

Історія агрокультури ріпак має кількатисячолітній розвиток. За даними історичних джерел та літописів, ріпак був відомий людству ще близько 4000 років до нашої ери. Його природним ареалом вирощування вважаються території північної частини Середземномор'я. Ріпак як агрокультура став найбільш популярним у кінці XIX століття, за умов, коли технічна революція зумовила суттєве зростання попиту споживачів на технічні оливи. Саме в цей період інтенсивного розвитку техніки ріпакова олія стала однією із дешевих і поширених мастильних матеріалів, а в окремих галузях повністю виітиснила значно дорожчі та на той момент дефіцитні оливи технічні.

В Україні ріпак активно культивували наприкінці XIX – на початку XX століття, коли площі його посівів значно перевищували площі, відведені під соняшник. Саме в цей період ріпак був основною олійною культурою, яка вирощувалася і перероблялася в нашій державі. Однак у середині XX століття ситуація докорінно змінилася, і досить стрімко соняшник майже повністю витіснив ріпак із виробничих структур господарств [4].

Новий етап відродження ріпаку мав місце в агроформуваннях на рубежі ХХІ століття і продовжується сьогодні. Потреба у відновленні раціональних ґрунтозберігаючих сівозмін, а також активний розвиток ринку біопалива сприяли швидкому зростанню посівних площ ріпаку. Сьогодні ця культура є головною рослинницькою сировиною для виробництва біодизелю, що забезпечує стабільний попит на насіння та продукти його переробки [2, 5].

Насіння ріпаку традиційно характеризується високим вмістом олії – у середньому показник олійності складає 48...52 %. Це визначає широке використання ріпаку в різних галузях промисловості, зокрема харчовій, лакофарбовій, варінні мила та ін. Ріпакова олія є важливою сировиною для виробництва харчових жирів і маргаринів, а також є складовою для отримання жирозамінників.

З біологічної точки зору ріпак є сільськогосподарською рослиною з характерними морфологічними ознаками (рис. 1, 2) [2...5]. Рослина ріпаку під час росту формує прямостояче стебло, яке може досягати 1,5...1,7 м у висоту, та має добре розгалуження у верхній частині, де формується суцвіття цієї культури. Протягом усього періоду росту і розвитку ріпаку в полі стебло та листки рослини вкриті восковим нальотом сизо-зеленого відтінку, що виконує захисні функції та зменшує негативний вплив несприятливих умов довкілля.



Рис. 1. Біологічні особливості ріпаку



Рис. 2. Загальний вигляд квітки та плодів ріпаку

Як зазначалося вище, всі листки рослини ріпак вкриті яскраво вираженим восковим нальотом, а більшість всієї листкової маси зосереджуються внизу рослин. Всі листки рослини поділяються на три основні групи:

- прикореневі листки ріпаку, що представлені групою листків, які формуються у нижній частині рослини. Для прикорневих листків характерна ліроподібна форма та наявність білого опушення на поверхні;
- листки середнього ярусу формуються на стеблі у меншій кількості; вони можуть бути як вузьколанцетними, так і ліроподібними;
- верхня листкова маса ріпаку є найменш вираженою і виявляється у сидячих, видовжених листках, основа яких розширюється та частково охоплює стебло.

Коріння рослини ріпак є стрижневим (рис. 1) та добре розвиненим, є міцним і потужним і може проникати у ґрунт на 2,5...3 м. Попри значну глибину проникнення, бокові розгалуження кореневої системи ріпаку слабо виражені, а кількість додаткових мичкуватих корінців є незначною. Нормальний розвиток озимого ріпаку восени передбачає формування розетки із 6...9 листків, що забезпечує успішну перезимівлю цієї культури. Навесні рослина продовжує вегетацію, формує міцний центральний пагін та суцвіття у вигляді нещільної китички золотисто-жовтого забарвлення. На центральній китичці зазвичай

налічують 20...40 квіток, кожна з яких має чотири пелюстки та шість тичинок – чотири довгі та дві короткі.

Плід ріпаку – видовжений стручок довжиною 6–11 см. У кожному стручку формується від 18 до 40 насінин з гладкою поверхнею та вираженим центральним швом, який забезпечує їх живлення під час росту і розвитку рослин. На верхівці стручка розташований характерний «носик» довжиною 10–20 мм. За сприятливих умов одна рослина може утворювати 200–400 стручків. Дозріле насіння ріпаку має округлу форму та темне забарвлення – від темно-коричневого до чорного. Маса тисячі насінин залежить від сорту, умов вирощування та агротехніки і перебуває в межах від 3 до 7 грам [2–5].

До основних обмежувальних чинників вирощування ріпаку належить підвищена потреба рослини у вологі, особливо у період осіннього формування листової розетки та на початку весняного росту. Транспіраційний коефіцієнт ріпаку є достатньо високим і становить 500...750, що вимагає від аграріїв детального і точного підбору технологічних операцій на кожному із етапів вирощування. Разом із тим ця культура є морозостійкою, вона здатна проростати навіть при температурі близько +0,1 °С, а оптимальними температурами для активного росту є температура +14...+17 °С. Ріпак може витримувати короточасні зниження температури до –17 °С, проте підвищені температури та дефіцит вологи майже завжди призводять до передчасного дозрівання стручків, погіршення якості вирощеного насіння і зниження загальної врожайності.

Найсприятливішими для вирощування ріпаку є чорноземи, темно-сірі та сірі лісові ґрунти з рівнем кислотності 6,0–6,5 рН за умови високоякісної передпосівної підготовки ґрунту та посіву високоякісним насіннєвим матеріалом. Вегетаційний період ріпаку складає в середньому 290–320 діб – від появи сходів і до повного дозрівання врожаю. Важливо зазначити, що ріпак належить до рослин довгого дня, тому його продуктивність значною мірою залежить від освітленості, що необхідно враховувати під час розробки та впровадження технології вирощування в дійсних умовах господарств [8] та розташування поля і лісопосадок по відношенню до руху сонця впродовж дня.

Аналіз типової технології вирощування озимого ріпаку в господарських умовах Кіровоградщини та технічного забезпечення етапів вирощування

Озимий ріпак посідає важливе місце в структурі посівних площ Кіровоградської області, оскільки культура характеризується високим потенціалом урожайності, хорошою адаптивністю до ґрунтово-кліматичних умов Степової зони та стабільним попитом на ринку олійних культур. Для фермерських господарств регіону ріпак є не лише джерелом прибутку, але й важливою культурою раціональної сівозміни, що дозволяє зменшувати фітосанітарні ризики для рослинництва, покращувати структуру ґрунту та оптимізувати використання МТП підприємства.

Типова технологія вирощування озимого ріпаку включає систему обробітку ґрунту, підготовку насіння, сівбу, догляд за посівами, систему захисту від шкідників, хвороб і бур'янів, збирання врожаю та післязбиральне очищення збіжжя. Кожен етап технологічного процесу потребує відповідного технічного забезпечення, від якості й своєчасності роботи якого залежить урожайність і рентабельність виробництва ріпаку.

Нижче наведено розширений аналіз кожної технологічної операції з урахуванням практики господарств Кіровоградщини, їх технічних можливостей та факторів, що стримують інтенсифікацію вирощування озимого ріпаку в господарських умовах.

Передпосівний обробіток ґрунту

У Степовій зоні України основною умовою отримання дружних сходів озимого ріпаку є достатнє накопичення та збереження вологи у верхньому шарі ґрунту. Традиційно господарства регіону застосовують комбіновану систему обробітку ґрунту, яка включає:

- лущення стерні після попередника (зазвичай озима пшениця або ячмінь);
- основний обробіток (оранка або глибоке рихлення);
- кількаразова передпосівна культивуація.

Для лущення стерні найчастіше використовуються важкі та середні дискові борони типу БДВП-3, БДТ-7 або модернізовані дискові лущильники типу ЛДГ-15. Наявність рослинних решток сприяє формуванню мульчі, що зменшує випаровування вологи та пригнічує розвиток бур'янів, що є дуже важливим зокрема у регіоні з нерівномірним розподілом опадів.

Основний обробіток ґрунту проводиться у господарствах різними способами залежно від матеріально-технічної бази господарства. У більшості випадків під ріпак проводиться оранка на глибину 25–30 см агрегатами ПЛН-5-35, ПЛН-4-35 або оборотними плугами типу Kverneland, Lemken. Проте тенденція до мінімізації обробітку та економії пального зумовила розширення використання чизельних та комбінованих глибокорозпушувачів. У регіоні набули поширення такі моделі: чизельні агрегати ЧН-1,5...4,5, Case EcoloTiger, чизель-глибокорозпушувачі Vednar Terraland TN3000. Застосування глибокорозпушувачів дозволяє зменшити ущільнення орного шару, покращити водопроникність та кореневу інфільтрацію, що позитивно впливає на розвиток ріпаку восени.

Передпосівну культивуацію здійснюють культиваторами для суцільного обробітку, зокрема КШП-8, КН-5,6, Horsch Tiger, комбінованими агрегатами типу Lemken Rubin або Farnet Softer. На цьому етапі важливо отримати вирівняне, структуроване та ущільнене ложе для насіння, що є обов'язковою умовою рівномірної глибини загортання насіння ріпаку (2–3 см).

Підготовка насіння до сівби

Озимий ріпак сіють у господарствах протруєним насінням гібридів першої чи другої репродукції. Поширеними є гібриди компаній Bayer, Pioneer, Limagrain, що характеризуються високою морозостійкістю.

У господарствах Кіровоградщини нерідко застосовують власне насіння, протруєне мобільними протруювачами типу ПСС-10, ПСШ-5, Мобітокс або імпортними комплексами Cimbria чи Petkus. Якість протруювання впливає на рівномірність сходів, захист від ґрунтових хвороб і шкідників осіннього періоду.

Сівба та технічні засоби її забезпечення

Строки сівби озимого ріпаку в області – з 20 серпня до 10 вересня. Запізнення зі строками сівби призводить до ослаблених рослин, що не встигають сформувати розетку до зими, тоді як надто рання сівба сприяє надмірному росту та вимерзанню.

Для сівби використовуються такі типи техніки:

- пневматичні сівалки точного висіву (Amazone AD, Horsch Pronto, Vaderstad Rapid);
- зернові сівалки СЗ-3,6, проте вони менш точні для дрібного насіння;
- комбіновані агрегати із системою прикочування.

Оптимальна норма висіву становить 3,5...5,0 кг/га залежно від гібрида. Сучасні сівалки забезпечують точне дозування та стабільну глибину загортання, що значно зменшує нерівномірність сходів.

Догляд за посівами восени

У господарських умовах чинниками ризику для посівів ріпаку є шкідники (хрестоцвіті блішки, капустяна міль, ріпаковий квіткоїд) та бур'яни (щиріця, гірчак, падалиця соняшнику).

Технічні засоби для захисту:

- обприскувачі ОПШ-2000, ОП-3000, Amazone UX, Berthoud, Hardi;
- мобільні комплекси для внесення біопрепаратів.

Восени проводять 1...2 обробки інсектицидами та фунгіцидами, а також застосовують регулятори росту для пригнічення надмірного розвитку. У технологічному процесі зазвичай задіяні трактори МТЗ-82, МТЗ-1221, John Deere 6130, Case Farmall.

Весняний догляд за озимим ріпаком

Після відновлення вегетації рослини ріпаку потребують азотного та комплексного підживлення. Вносять аміачну селітру, карбамід або КАС-32.

Технічні засоби для проведення догляду за посівами озимого ріпаку:

- розкидачі мінеральних добрив Amazone ZA-M, Rauch, Vogballe;

- агрегати для внесення КАС типу штангових обприскувачів із відповідними форсунками.

Навесні також проводиться фунгіцидно-інсектицидний захист, що вимагає високої продуктивності обприскувачів. У фермерських господарствах Кіровоградщини найбільш поширені причіпні обприскувачі, які забезпечують достатню ширину захвату при відносно невисокій вартості експлуатації.

Збирання озимого ріпаку

Збирання ріпаку є одним із найвідповідальніших етапів його виробництва. Ріпак схильний до осипання, тому господарства застосовують такі способи збирання:

1. Пряме комбайнування – за врожайності понад 20 ц/га та рівномірному досяганні.
2. Роздільне збирання – застосовується рідше, передбачає скошування у валки та подальше підбирання і обмолот валків.

Технічні засоби:

- зернозбиральні комбайни John Deere, Claas Lexion, New Holland CX, а також вітчизняні, зокрема КЗС-9-1;
- приставки для ріпаку (ріпаківі столи) Zaffrani, Fantini, Claas, які запобігають осипанню.

Після збирання насіння містить значну кількість домішок (частки стручків, пил, бур'яни, недомолочені зернівки), що унеможливорює тривале зберігання і потребує своєчасного післязбирального очищення.

Післязбиральне очищення врожаю та технічні засоби для його виконання

Саме етап післязбирального очищення є найбільш проблемним у багатьох фермерських господарствах Кіровоградщини. Більшість малих і середніх підприємств не мають достатніх потужностей для швидкого очищення ріпаку під час пікового завантаження збиральних агрегатів. Через це насіння змушене зберігатися у непереробленому вигляді, що призводить до:

- самозигрівання;

- погіршення насінневої та товарної якості;
- втрат маси та олійності.

Традиційно для очищення насіння використовуються решітні очисні машини типу ОВС-25, Петкус К-547, ЗАВ-40, однак їх ефективність щодо дрібного насіння ріпаку є низькою через недостатню якість роботи решітних поверхонь та неможливість стабільно відокремлювати легкі домішки.

Тому в останні роки зростає інтерес до пневмосепараційних машин і аспіраторів. Зокрема, аспіраторів типу АСХ-5, АСХ-10, що працюють на принципі аеродинамічного розділення компонентів зібраного врожаю. Використання таких агрегатів дозволяє:

- відокремлювати домішки на основі різниці аеродинамічних властивостей;
- забезпечувати плавне регулювання швидкості повітряного потоку;
- очищати ріпак без механічного травмування;
- зменшувати навантаження на решітні машини.

Аспіратори АСХ-10 є оптимальними для фермерських господарств середнього розміру, оскільки:

- мають продуктивність 8...12 т/год, достатню для оперативної переробки добового обсягу збирання врожаю зазначеної культури;
- можуть працювати автономно або в складі очисних ліній;
- забезпечують високий ступінь очищення дрібного насіння, що є характерним для ріпаку.

Таким чином, пневмосепарація є найбільш технологічно доцільною в умовах нерегулярних потоків дрібнозернового зібраного збіжжя та дозволить швидко і ефективно очистити врожай при цьому частково ще й знизити вологість насіння ріпаку.

Короткі висновки до розділу

Аналіз типової технології вирощування озимого ріпаку в господарствах Кіровоградщини підтверджує, що регіон має сприятливі природно-кліматичні умови для отримання високих і стабільних урожаїв цієї цінної як з точки зору сівозміни так і подальшого використання культури. Технологічний процес

базується на сучасних підходах до обробітку ґрунту, застосуванні продуктивної техніки для сівби, догляду та збирання, а також використанні високопродуктивних засобів агрохімії. Однак одним із найбільш проблемних етапів залишається післязбиральне очищення врожаю, оскільки більшість традиційних очисних машин не забезпечує належного рівня сепарації дрібного насіння ріпаку.

Для підвищення ефективності технології, зменшення втрат та забезпечення стабільної якості зібраного врожаю особливо важливим є вдосконалення процесу післязбиральної доробки збіжжя. Оптимальним рішенням для фермерських господарств регіону є впровадження пневмосепараторів та аспіраторів, зокрема машин типу АСХ-10, які здатні забезпечити високоякісне очищення ріпаку, мінімізувати втрати, покращити умови зберігання та підвищити загальну рентабельність виробництва цієї культури.

3. Наукова частина

3.1. Огляд і аналіз існуючих конструкцій серійних зерноочисних агрегатів для післязбирального очищення врожаю ріпаку

Післязбиральне очищення ріпаку є одним із головних етапів технологічного процесу його виробництва, оскільки насіння цієї культури має ряд фізико-механічних особливостей, що ускладнюють операцію очищення зібраного збіжжя від домішок. Ріпак характеризується дуже малою масою тисячі насінин (в межах 3...7 грам), значною різницею в аеродинамічних властивостях між повноцінним та щуплим насінням, а також схильністю до засмічення домішками дрібних фракцій – битих часток стручків, бур'янів і пилу. У зв'язку з цим традиційні зерноочисні машини, які ефективно працюють на пшениці, ячменю чи кукурудзі, не завжди забезпечують необхідні якісні показники очистки саме для дрібнонасінневих олійних культур.

Для господарств Кіровоградської області, які спеціалізуються на вирощуванні озимого ріпаку, проблема якісного та своєчасного очищення стає

особливо актуальною через високу швидкість збирання врожаю ріпаку та обмежені можливості зберігання неочищеної продукції. Тому важливо оцінити ефективність роботи існуючих серійних зерноочисних агрегатів з огляду на їхню конструкцію, технологічний принцип роботи та придатність до очищення такої дрібнозернової культури як ріпак.

Традиційні решітні зерноочисні машини: Загальний аналіз конструкцій

Сьогодні в фермерських господарствах Кіровоградщини одними із найбільш поширених зерноочисних машин залишають машини типу ОВС, зокрема ОВС-25 (рис. 3). Зазначені зерноочисні машини є агрегатами потокового типу, які активно використовуються у багатьох фермерських господарствах України завдяки своїй доступності, надійності та невибагливості в обслуговуванні. Проте їх конструкція орієнтована переважно на очищення зернових культур середньої фракційності.

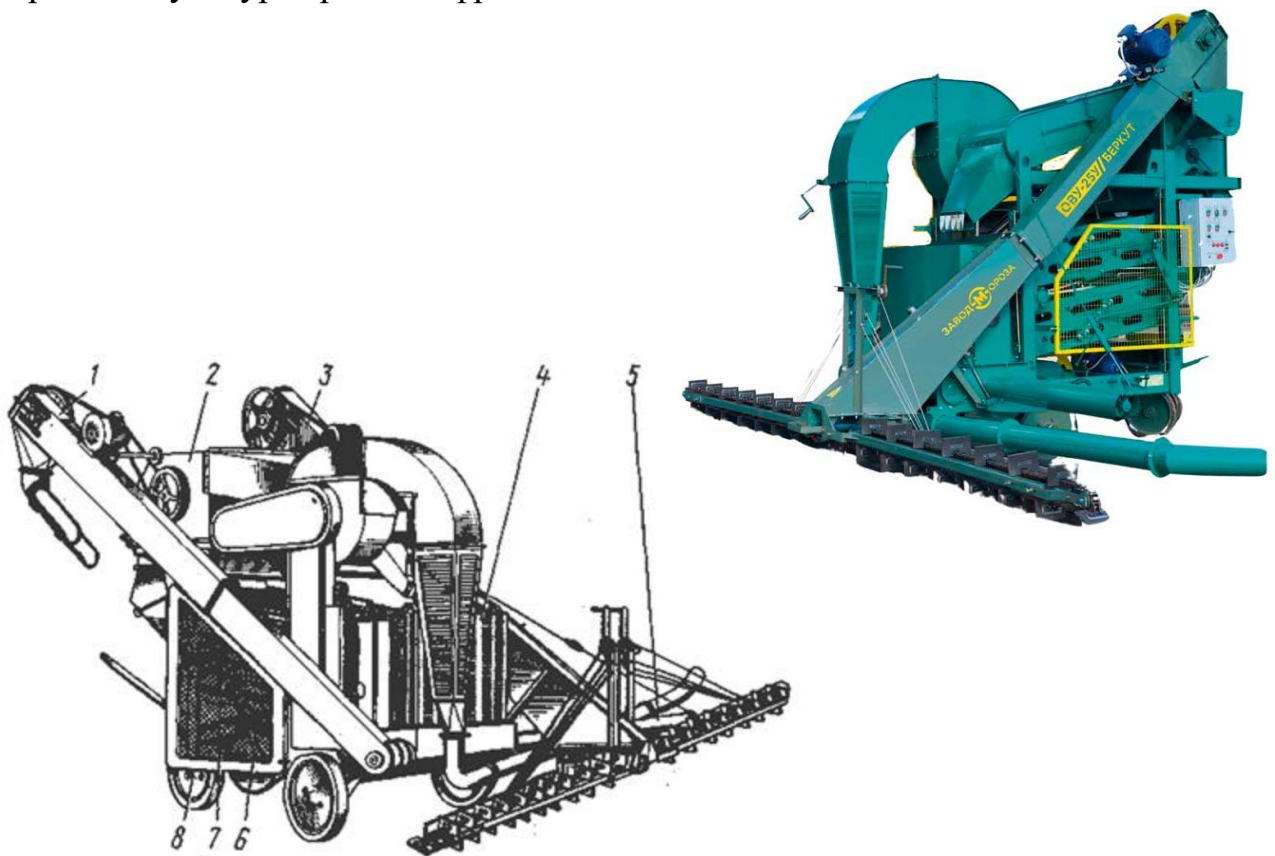


Рис. 3. Зерноочисна машина ОВС-25:

1 – транспортер-відвантажувач очищеного зерна; 2 – повітряна частина (система аспірації); 3 – завантажувальний похилий транспортер; 4 – касета

решіт; 5 – транспортер; 6 – механізм самопересування; 7 – решітні стани; 8 – рама агрегату з колесами

Основні технічні недоліки зерноочисних машин ОВС, що мають місце під час очищення ріпаку:

- решітні поверхні мають недостатню можливість просівати дрібні фракції;
- повітряний потік має обмежений діапазон регулювання швидкостей;
- дрібні домішки, схожі за розміром з насінням ріпаку, погано відокремлюються;
- існує ризик втрат повноцінного насіння через нерівномірний розподіл матеріалу на решетах.

У більшості випадків машини типу ОВС ефективно виконують лише первинне очищення, що не забезпечує високих вимог до товарної якості ріпаку.

Зерноочисні та сушильні комплекси типу ЗАВ (ЗАВ-20, ЗАВ-40, ЗАВ-100 (рис. 4)) використовуються для потужної потокової переробки зерна і насіння.

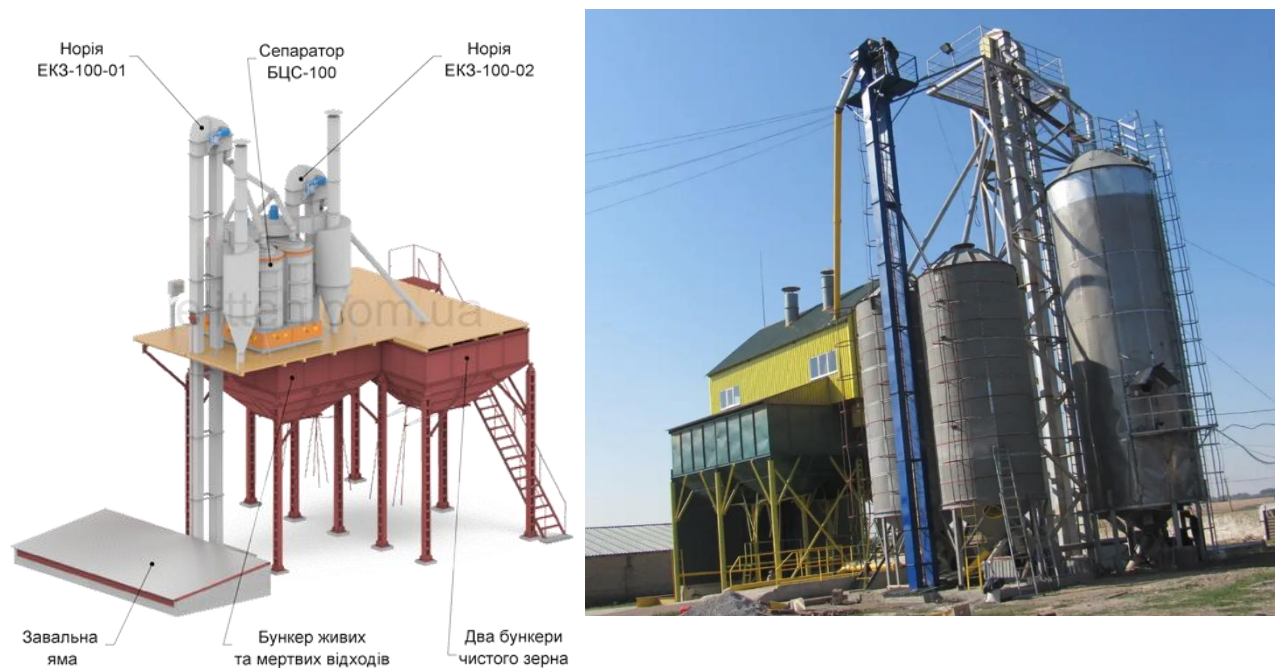


Рис. 4. Зерноочисний комплекс ЗАВ-100

Конструктивно комплекс ЗАВ включає комбінацію:

- решітних сепараторів;

- аспіраційних каналів;
- транспортних механізмів;
- інколи — попередніх пневмосепараторів.

Зерноочисні комплекси типу ЗАВ характеризуються високою продуктивністю, що підходить для великих господарств, але мають низьку ефективність під час роботи із дрібнонасіневими культурами.

Причини незадовільної роботи комплексів ЗАВ із дрібнозерновими сільськогосподарськими культурами:

- решета навіть із мінімальним калібруванням недостатньо ефективні для роботи із дрібним насінням та зерном;
- аспіраційні канали слабо працюють з легкими частками зернових сумішей, насамперед за умов, коли не передбачено інтенсифікації повітряної очистки;
- збільшення подачі матеріалу на очищення та доведення комплексу за показниками продуктивності при роботі із дрібнозерновими матеріалами різко знижує точність сепарації.

Таким чином, використання комплексів ЗАВ для ріпаку доцільне лише в рамках попереднього очищення із заниженою продуктивністю, але не для формування товарної партії вирощеного збіжжя ріпаку із високими показниками чистоти.

Барабанні та трієрні сепаратори для очищення дрібнозернових матеріалів

Трієрні блоки (рис. 5) (трієри ТСА, Petkus К-547 та аналоги) ефективні при відокремленні довгих або коротких домішок, що є ефективним при очистці зернових культур. Принцип роботи трієрів базується на селективному захопленні частинок різних розмірів комірками циліндричного трієра.

Під час очистки ріпаку такі агрегати працюють задовільно, зокрема через:

- надто дрібний розмір повноцінного насіння ріпаку, що ускладнює калібрування фракцій трієром;
- висока ймовірність підвищеного механічного травмування насіння;

- низька продуктивність, зокрема при видаленні легких часток із зібраного врожаю.



Рис. 5. Загальний вигляд трієрного блоку

В окремих випадках в господарствах трієри застосовують як додатковий етап очищення врожаю ріпаку, але їх ефективність щодо основного очищення цієї культури вважається обмеженою.

Комбіновані сепаратори: загальні можливості та обмеження

Сучасні комбіновані зерноочисні агрегати від компаній Cimbria, Schmidt–Seeger, Bühler (рис. 6) поєднують решітне, повітряне та інколи спіральне розділення компонентів зернових сумішей. Хоча такі комплекси забезпечують високу ефективність очищення зібраного врожаю від різних домішок, вони характеризуються низкою недоліків, що відмічають фермерські господарства Кіровоградщини:

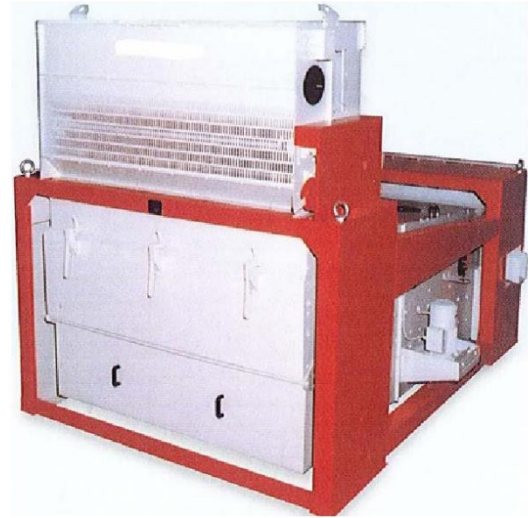
- висока вартість, яка є непосильною для малих і середніх агропідприємств;
- складність обслуговування та необхідність мати в наявності спеціально навченого кваліфікованого персоналу;
- низька мобільність;

- обмежена ефективність при надмірному зволоженні або засміченні зібраного зернового чи насіннєвого матеріалу.

Окремо слід зазначити, що комбіновані машини орієнтовані на попереднє та первинне очищення зернових, зернобобових культур, кукурудзи та соняшнику, але не завжди працюють добре із дрібними олійними культурами, зокрема ріпаком, при роботі із яким має місце забивання насіння.



а



б



в

Рис. 6. Комбіновані зерноочисні агрегати:

а – DELTA серія 110 Cimbria; б – SMA 203-3, 206-6 Schmidt–Seeger;

в – BÜHLER SMA

Пневмосепараційні зерноочисні машини та аспіратори як найбільш ефективні агрегати для очищення ріпаку

На відміну від традиційних решітних чи повітряно-решітних зерноочисних машин, пневмосепаратори працюють за аеродинамічним принципом розділення частинок зернових сумішей. Це дозволяє ефективно відокремлювати пил, легкі та частково проміжні домішки на основі різниці у швидкості витання компонентів зерносумішей у повітряному потоці.

Переваги пневмосепараторів при використанні їх для очищення ріпаку наступні:

- можливість тонкого регулювання швидкості повітряного потоку;
- мінімальний ризик травмування дрібного насіння;
- висока точність розділення дрібних та легких домішок;
- стабільність роботи на операціях виділення домішок за змінного рівня вологості;
- низькі експлуатаційні витрати;
- можливість роботи у складі мобільних очисних ліній.

Пневматичні системи очищення особливо ефективні на технологічних процесах післязбирального очищення ріпаку, оскільки домішки, як правило, мають нижчу масу та інші аеродинамічні властивості, ніж повноцінне насіння зазначеної культури.

Сучасні аспіратори, які використовуються для очищення дрібнонасінневих культур, виготовляються у двох основних конструктивних виконаннях вертикальному (рис. 7) та горизонтальному (рис. 8) (працює похилий повітряний потік).

Робота сепараторів та аспіраторів із вертикальним повітряним потоком (рис. 7) володіє рядом переваг, серед яких можна виділити:

- висока інтенсивність розділення матеріалів за аеродинамічними ознаками через можливість розвитку робочого каналу по висоті;

- можливість забезпечення рівномірного потоку;
- компактність та зручність компонування із іншими машинами.

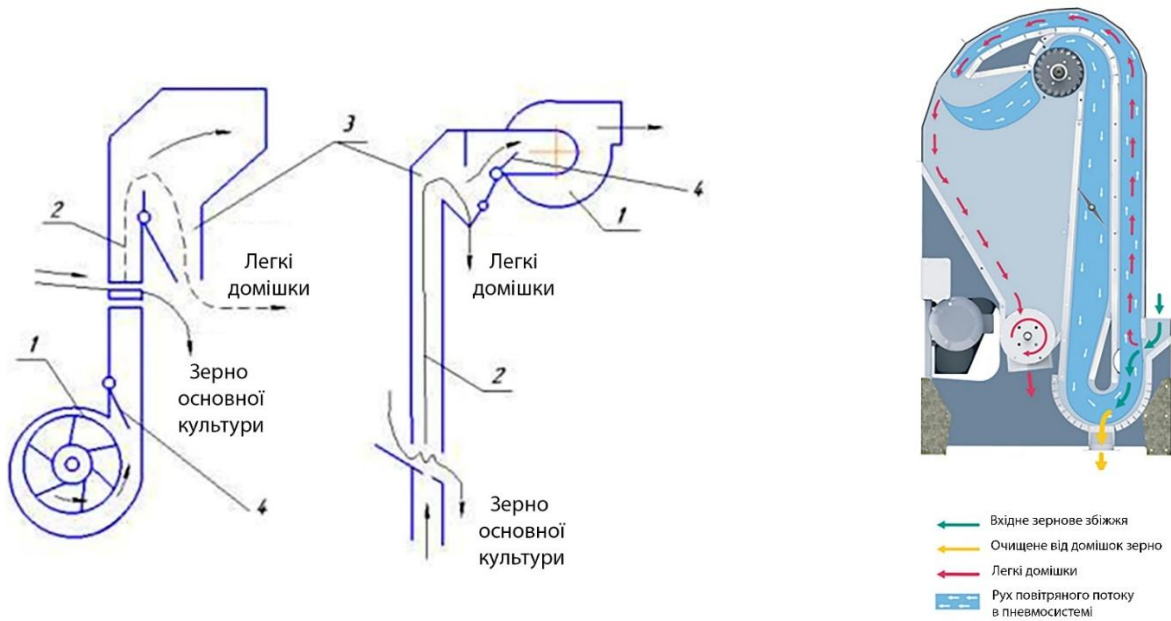


Рис. 7. Принципова схема роботи вертикального повітряного потоку

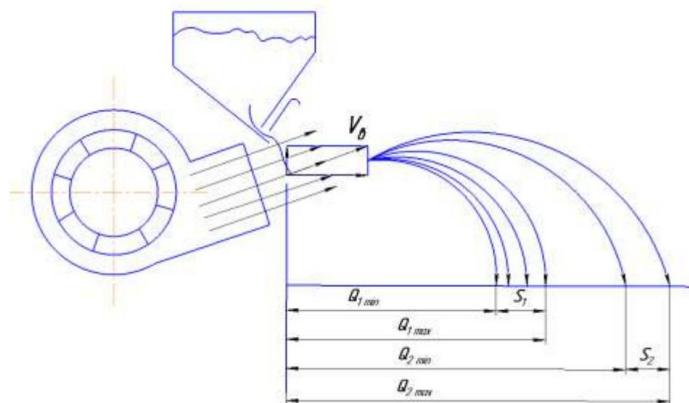


Рис. 8. Принципова схема роботи горизонтального (похилого) повітряного потоку

Серед недоліків роботи вертикальних пневмоканалів слід відмітити наступне:

- висока чутливість до зміни подачі матеріалу в зону очищення;
- складність точного регулювання як подачі збіжжя на очищення так і швидкості повітряного потоку в зоні розділення.

Робота пневмосепараторів із горизонтальним чи похилим робочим повітряним потоком (рис. 8) характеризується наступними перевагами:

- стабільність повітряного потоку під час процесу очищення;
- можливість інтеграції в існуючі системи пневмотранспорту сільськогосподарських матеріалів;
- рівномірне завантаження каналу по робочій площі перерізу.

Серед недоліків роботи повітряного очищення зерноsumішей із похилим потоком повітря відмічається насамперед такі фактори:

- потреба у значно більших габаритах зерноочисного агрегату;
- суттєво більші витрати на створення повітряного потоку та складність у організації замкнених пневмосистем.

Ефективність аспіраторів АСХ для очищення врожаю ріпаку

Вітчизняні аспіратори типу АСХ-5, АСХ-10, АСХ-20 виробництва Хорольського механічного заводу зарекомендували себе як надійні агрегати для первинного та вторинного очищення дрібних олійних культур, зокрема ріпаку, льону та гірчиці.

Основні конструктивні особливості аспіраторів серії АСХ наступні:

- робота за аеродинамічним принципом поділу у повітряному каналі;
- плавне регулювання продуктивності вентилятора;
- можливість зміни геометрії повітряного каналу;
- низький рівень енергоспоживання;
- простота інтеграції у зерноочисні лінії.

Особливо ефективним для фермерських господарств Кіровоградщини є аспіратор АСХ-10, оскільки він:

- має продуктивність 8–12 т/год, що є достатнім для оперативного очищення зібраного врожаю ріпаку;
- забезпечує відокремлення пилу, легкої та середньої фракції домішок;
- зменшує навантаження на решітні сепаратори у складі поточкових ліній післязбирального очищення врожаю;
- дозволяє працювати навіть при змінній інтенсивності подачі матеріалу на очищення;
- практично не травмує насіння основної культури.

Таким чином, огляд конструкцій серійних зерноочисних агрегатів підтвердив, що більшість традиційних решітних та комбінованих машин не забезпечують заданої агровимогами якості післязбирального очищення, насамперед під час очищення дрібнонасінневих культур, таких як ріпак. Причиною є обмежена продуктивність решіт під час роботи із дрібнозернами, недостатній діапазон регулювання повітряного потоку та значні втрати насіння разом із домішками. Барабанні та трієрні сепаратори також мають низьку ефективність при роботі з ріпаком через його дрібні розміри та високу чутливість до механічних впливів і висока ймовірність травмування і пошкодження повноцінного насіння.

Найбільш ефективними агрегатами для очищення ріпаку є пневмосепаратори та аспіратори, оскільки їх робота базується на аеродинамічних властивостях частинок, що дозволяє відібрати легкі домішки з високою точністю та мінімальними втратами. З огляду на технічні можливості, енергетичну ефективність та відповідність потребам фермерських господарств Кіровоградщини, доцільно рекомендувати застосування аспіратора АСХ-10 для післязбирального очищення врожаю ріпаку. Його використання забезпечить стабільність технологічного процесу, підвищення якості насіння та створення оптимальних умов для подальшого зберігання врожаю.

3.2. Опис базової конструкції аспіратора АСХ-10

Аспіратори типу АСХ із замкненою циркуляційною системою повітря та встановленим діаметральним вентилятором призначені для розділення

використовуючи аеродинамічні властивості компонентів продуктів лущення круп'яних культур, відбору лузги, мучки, а також для контролю якості готової продукції. Крім того, останнім часом обладнання використовується для післязбирального очищення зерна та насіння сільськогосподарських культур від легких аеродинамічних домішок. Аспіратори даної серії використовуються у лущильних відділеннях крупо заводів, зерноочистних агрегатах агропідприємств, підготовчих відділеннях млинів і олієнь. Основні технічні характеристики аспілятора АСХ-10 (рис. 9) зведені в таблицю 1.

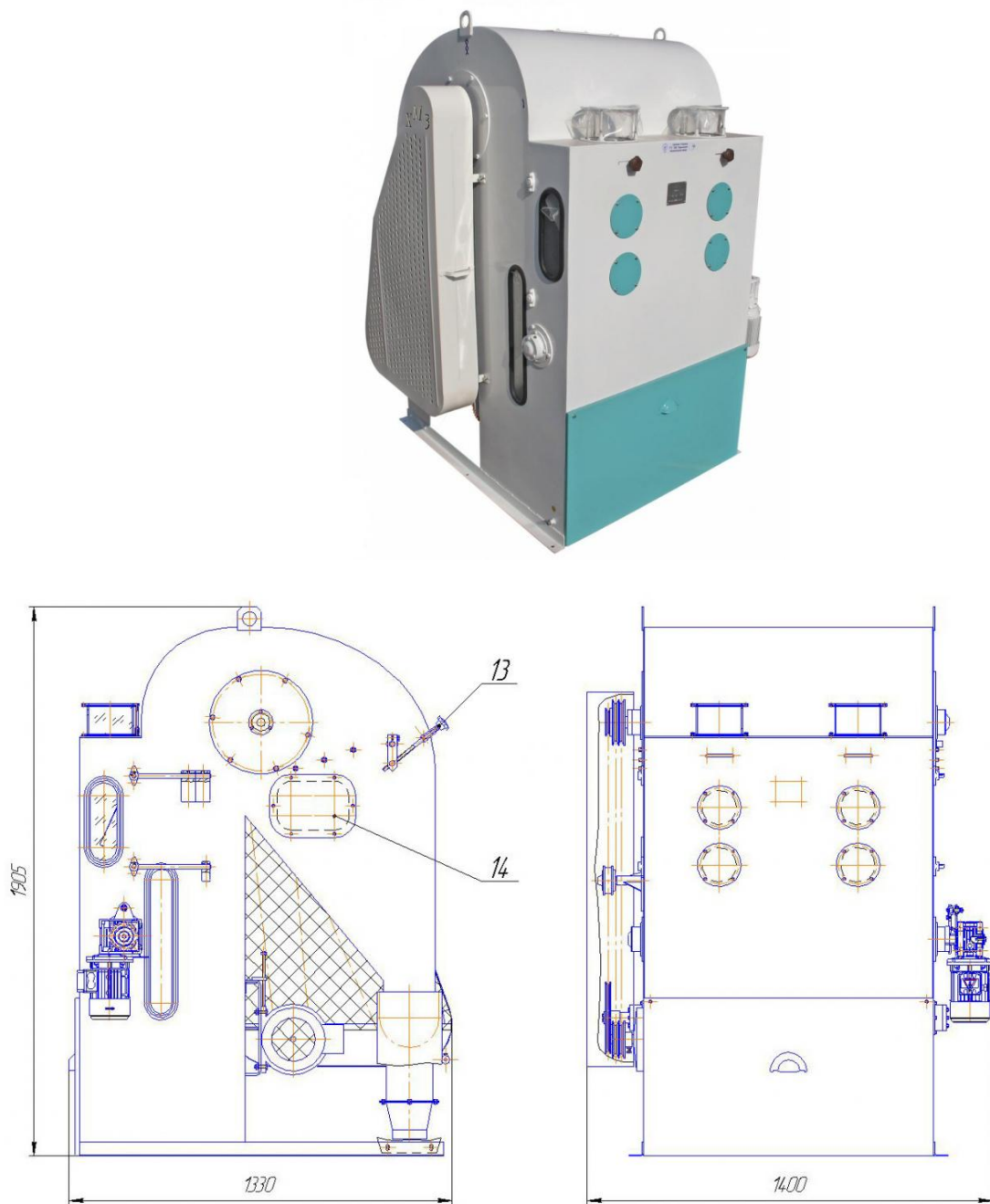


Рис. 9. Загальний вигляд і схема аспілятора АСХ-10

Основні технічні показники аспіратора АСХ-10

Показник	Значення
Продуктивність аспіратора, т/год на етапі:	
- очищення рису	7,5±0,5
- очищення гречки	6,0±0,5
- очищення вівса	5,0±0,5
- очищення пшениці, рису, ячменю	10±1
Технологічна ефективність виділення лузги при розділення продуктів шелушіння повітряним потоком, % не менше	85
Технологічна ефективність виділення легких домішок повітряним потоком із зерна пшениці чи рису, % не менше	60
Вміст повноцінного зерна чи насіння у відходах, % не більше	2
Діаметр ротора вентилятора, мм	300±2
Частота обертання вентилятора, об/хв	950
Кількість лопатей вентилятора, шт	12
Частота обертання шнека для виділення легких домішок, об/хв	350
Діаметр шнека легких домішок, мм	160
Габаритні розміри аспіратора, мм не більше	
- ширина	1330
- висота	1905
- довжина	1400
Вага аспіратора, кг	565
Номінальна потужність електродвигуна, кВт, не більше	4,0

Обладнання виготовляється згідно з вимогами третьої категорії ДСТУ 15150 у виконанні «У» та призначене для експлуатації в регіонах із помірним кліматом. Конструкція аспіратора забезпечує стабільну роботу зерноочисного обладнання в діапазоні температур від -10 до $+40$ °С та відносній вологості до 80 % за середньорічної температури повітря близько $+15$ °С. Робочий тиск повітряного середовища, за якого агрегат зберігає працездатність, становить 86,6...106,7 кПа.

Аспіратор АСХ-10 (рис. 9, 10) складається з приймального патрубку 1 та корпусу, що виготовляється у вигляді зварної металевої конструкції із спеціально змонтованими внутрішніми перегородками, що й утворюють робочу зону

машини. Перелічені елементи формують наступні функціональні зони аспіратора:

- приймальну камеру 2, де відбувається початковий розподіл насінневої суміші, яка вводиться на очищення;
- вертикальний пневмосепаруючий канал 3, у якому безпосередньо відбувається аеродинамічний поділ компонентів зерноsumіші;
- рециркуляційний канал 4, яким повітря повертається у робочу зону;
- осаджувальна камера 5, де відбувається зупинка та виведення за межі агрегату легких домішок.

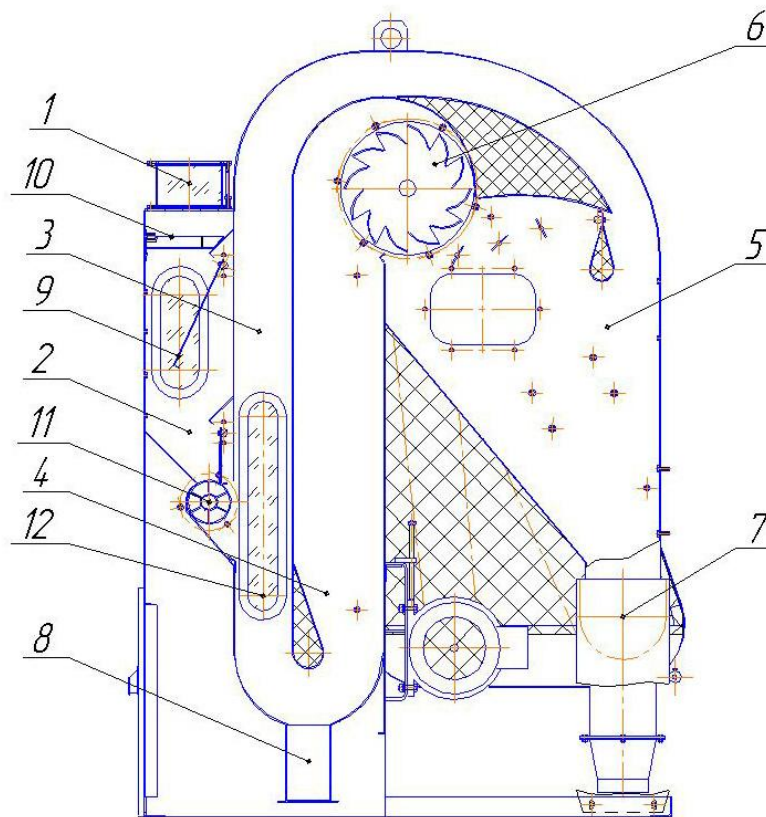


Рис. 10. Функціональна схема аспіратора АСХ-10

У нижній частині пневмоканалу розміщується випускний патрубок 8, через який виходить очищений продукт. В осаджувальній камері по всій довжині аспіратора встановлено діаметральний вентилятор (ротор) 6, а також в нижній частині агрегату змонтований шнековий транспортер 7 для транспортування осаджених відходів у зону вивантаження.

У приймальній камері розташований вантажний клапан 9, що забезпечує регулювання подачі зернового матеріалу на очищення. Поряд із ним встановлені подільники 10, положення яких можна змінювати залежно від того як має направлятися зерновий матеріал на очищення. Таке регулювання живильників дозволяє рівномірно розподілити суміш, що подається на очищення по ширині приймальної й пневмосепараційної камер.

Подача матеріалу в зону очищення збіжжя потоком повітря здійснюється через спеціальний живильник, що сприяє рівномірному розподілу частинок у повітряному потоці, забезпечуючи оптимальну ефективність відокремлення легких домішок повітрям.

Регулювання режиму руху повітря в зоні його входу до осаджувальної камери відбувається за рахунок поворотної заслінки, що має обтічну форму. Положення цієї заслінки може шарнірно змінюватися гвинтовим механізмом. В осаджувальній камері додатково монтуються три поворотні планки, які дозволяють тонко налаштувати розподіл повітряних потоків з метою зупинки і виділення із повітря аеродинамічно легких домішок.

Ротор діаметрального вентилятора 6 виконано у вигляді звареної конструкції з двома дисками, між якими закріплено 12 лопаток. Вентилятор для створення повітряного потоку обертається на підшипникових опорах. Шнек також встановлюється на підшипникових вузлах, має з одного кінця патрубков, що призначено для виведення із машини легких домішок і обладнаний протипідсмоктувальним клапаном.

Привід вентилятора і шнека здійснюється від електродвигуна через клинопасові передачі та контрпривід, який забезпечує підтримання необхідного натягу привідного пасу.

З обох торців аспіратора монтуються оглядові вікна, через які оператор може контролювати процес руху матеріалу в зоні очищення та ефективність відділення домішок повітрям. Для обслуговування та очищення внутрішніх поверхонь на торцевій стінці корпусу змонтовано знімні кришки з гумовими

ущільненнями, що забезпечують герметичність і зручність проведення регламентних робіт, обслуговування і ремонту аспіраатора.

Принцип роботи аспіраатора наступний. Матеріал через приймальний патрубок потрапляє до приймальної камери, де його надходження регулюється вантажним клапаном. Подільники забезпечують рівномірне надходження багатокомпонентної суміші до пневмосепаруючого каналу. Через живильник частинки рівномірно вводяться в зону інтенсивного продування насіння повітряним потоком, який і є агентом виділення аеродинамічно легких домішок.

Під дією вертикального аеродинамічного потоку легкі домішки (лушпайки, пил, мучка) піднімаються вгору й потрапляють у рециркуляційний канал, звідки переміщуються до осаджувальної камери. В цій зоні легкі домішки осаджуються та видаляються шнеком через патрубок за межі аспіраатора. Очищений повітряним потоком матеріал, навпаки, опускається вниз по пневмоканалі та самоплином виходить через випускний патрубок.

Повітря, пройшовши через вентилятор, знову повертається в систему, утворюючи замкнений цикл циркуляції потоку, що забезпечує скорочення енерговитрат та пиловиділення в робочу зону.

У процесі промислової експлуатації та під час технічних перевірок аспіраатора АСХ-10 було встановлено, що, попри його конструктивні переваги, агрегат має низку експлуатаційних недоліків. Зокрема, виявлено такі проблемні моменти:

1. Регулювання частоти обертання вентилятора та робочих органів потребує значних затрат праці, оскільки зміна режиму роботи можлива лише шляхом заміни шківів і подальшого точного налаштування приводу.
2. Параметри повітряного потоку та аеродинамічні характеристики вентилятора недостатньо адаптовані до потреб сепарації різних культур, що зменшує універсальність та технологічну адаптованість зерноочисного обладнання.
3. Конструкція замкненої пневмосистеми досліджена слабо, що свідчить про відсутність повноцінних експериментальних і теоретичних досліджень

та потребує уточнення з огляду на особливості руху повітряного потоку у внутрішніх каналах аспіратора.

З огляду на виявлені недоліки в межах даної роботи пропонується комплекс заходів, спрямованих на модернізацію та підвищення ефективності зерноочисного агрегату, зокрема адаптації його роботи із дрібним насінням:

1. Розробити та впровадити оновлений приводний механізм із варіатором, що забезпечить безступеневе регулювання частоти обертання вентилятора й скоротить час на переналаштування аспіратора під різні робочі режими.
2. Виконати аеродинамічні розрахунки та вдосконалити конструкцію вентилятора, аби підвищити ефективність використання повітряного потоку й зменшити загальне енергоспоживання сепаратора.
3. Оптимізувати привід та робочі параметри шнека, врахувавши фізичні характеристики легких домішок, їх об'ємну масу та реальну продуктивність машини в режимі роботи з різними культурами.
4. Провести дослідження роботи пневмосистеми та приводних механізмів, що дозволить обґрунтувати раціональні режими функціонування агрегату та вдосконалити його конструкцію загалом.

Теоретичний аналіз аеродинамічних характеристик пневмосистеми аспіратора

АСХ-10

Джерелом повітряного потоку в аспіраторі є діаметральний вентилятор, об'ємна продуктивність якого визначається співвідношенням, що пов'язує геометричні параметри джерела повітряного потоку та робочі характеристики і має вигляд:

$$Q_B = \pi \cdot D_B \cdot L_B \cdot h_L \cdot n_B \cdot \psi,$$

де Q_B – витрати повітря даним вентилятором;

D_B – діаметр крилача вентилятора, приймаємо $D_B = 0,30$ м;

L_B – довжина вентилятора, яка узгоджується із шириною аспіратора і складає

$$L_B = 1,2 \text{ м};$$

h_L – висота лопатей вентилятора у радіальному напрямку, приймаємо

$$h_L = 0,045 \text{ м};$$

n_B – частота обертання крилача вентилятора, яка для серійного агрегату складає $n_B = 950 \text{ об/хв} = 15,83 \text{ об/с}$;

ψ – коефіцієнт витрат повітря або ж коефіцієнт продуктивності, що для діаметрального вентилятора складає $\psi = 0,65 \dots 0,72$.

Визначимо при $\psi = 0,68$, отримаємо:

$$Q_B = 3,14 \cdot 0,30 \cdot 1,2 \cdot 0,045 \cdot 15,83 \cdot 0,68 = 0,347 \text{ м}^3/\text{с} = 1249 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Критичний аналіз: Отримане значення продуктивності вентилятора (1249 м³/год) є заниженим для забезпечення номінальної продуктивності аспіратора 10 т/год. Це вказує на необхідність уточнення конструктивних параметрів або використання ротора більшої довжини.

Для забезпечення оптимальної швидкості повітряного потоку в каналі $V \approx 6 \dots 7 \text{ м/с}$ при площі перерізу каналу $S \approx 0,12 \dots 0,15 \text{ м}^2$ необхідна продуктивність:

$$Q_{B \text{ необх}} = S \cdot V \cdot 3600 = 0,14 \cdot 6,5 \cdot 3600 = 3276 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, при роботі серійного аспіратора АСХ-10 для забезпечення заданої швидкості роботи повітряного потоку в пневмосистемі слід або ж збільшувати габарити ротора (крильчастки) вентилятора або змінювати параметри самих лопатей.

Характеристики повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі

Площа поперечного перерізу каналу:

Приймаючи співвідношення сторін $k = a/b = 5$ для прямокутного каналу та габаритні обмеження:

$$a \cdot b = S;$$

$$a = 5 \cdot b.$$

При ширині аспіратора $V_{\text{габ}} = 1330 \text{ мм}$, максимальна ширина каналу складає $a_{\text{max}} \approx 1100 \text{ мм}$ отримаємо:

$$b = a/5 = 1100/5 = 220 \text{ мм} = 0,22 \text{ м.}$$

$$S = 1,1 \cdot 0,22 = 0,242 \text{ м}^2.$$

Швидкість повітряного потоку при знайдених параметрах каналу складає:

$$V = \frac{Q_B}{S} = \frac{3276}{(0,242 \cdot 3600)} = 3,76 \text{ м/с.}$$

Отже, встановлено, що розрахункова швидкість 3,76 м/с є недостатньою для ефективного очищення повітряним потоком зернових культур (оптимум 6...8 м/с) та є занадто низькою для ріпаку (оптимум 5,5...6,5 м/с). Це вказує на необхідність підвищення продуктивності вентилятора або зменшення площі перерізу каналу.

Вплив кількості лопаток вентилятора на рівномірність повітряного потоку

З метою теоретичної оцінки пульсації потоку повітря можемо визначити частоту пульсацій тиску, що створюється в системі вентилятором (рис. 11). Для цього використаємо залежність:

$$f = \frac{z \cdot n_g}{60}.$$

Враховуючи те, що в якості вдосконалення рекомендується збільшити кількість лопаток на вентиляторі проведемо визначення частоти пульсацій тиску повітря при роботі вентилятора із 12 та 24 лопатками, отримаємо:

$$f_{12} = \frac{12 \cdot 950}{60} = 190 \text{ Гц;}$$

$$f_{24} = \frac{24 \cdot 950}{60} = 380 \text{ Гц.}$$

Амплітуда пульсацій швидкості повітряного потоку обернено пропорційна кількості лопаток:

$$A_v \sim \frac{1}{z}.$$

Для $z = 24$ порівняно з $z = 12$:

$$\frac{A_{v24}}{A_{v12}} = \frac{12}{24} = 0,5.$$

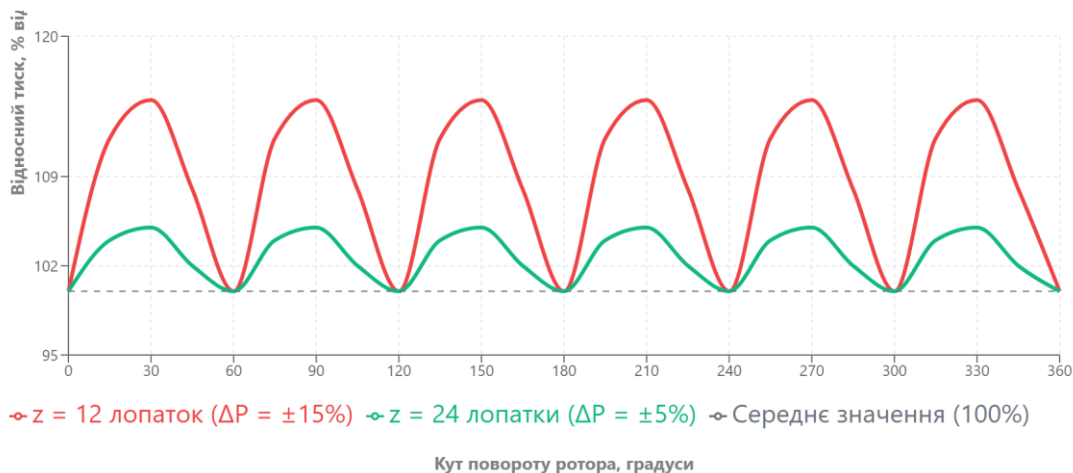
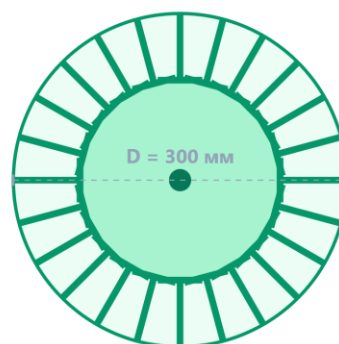
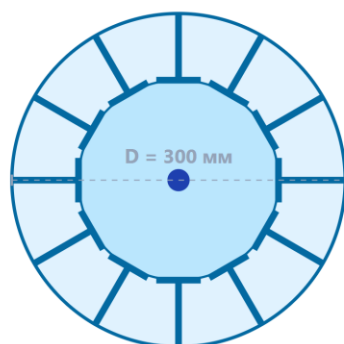


Рис. 11. Пульсації тиску при обертанні вентилятора (один повний оберт)

Базова конструкція ($z = 12$)

Модернізована конструкція ($z = 24$)



Характеристики базової конструкції:

- Кількість лопаток: $z = 12$ шт.
- Крок лопаток: $t = 78,5$ мм
- Продуктивність: $Q = 1250$ м³/год
- Пульсації тиску: $\Delta P_{12} = \pm 15\%$

Характеристики модернізованої конструкції:

- Кількість лопаток: $z = 24$ шт. (+100%)
- Крок лопаток: $t = 39,3$ мм (-50%)
- Продуктивність: $Q = 1320$ м³/год (+5,6%)
- Пульсації тиску: $\Delta P_{24} = \pm 7,5\%$ (-50%)

Рис. 12. Схема, та загальні характеристики базового та модернізованого вентилятора

Отже, збільшення кількості лопаток вентилятора з 12 до 24 (рис. 12) забезпечує:

- зниження амплітуди пульсацій у 2 рази;
- підвищення частоти пульсацій у 2 рази (до 380 Гц);
- покращення рівномірності потоку повітря, що є особливо важливим для очистки дрібнонасіненних культур;
- зниження акустичних шумів внаслідок вищої частоти коливань

Енергетичний баланс аспіратора АСХ-10

Потужність, що споживається вентилятором аспіратора складає:

$$N_B = \frac{Q_B \cdot \Delta P}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_M},$$

де ΔP – повний тиск, що створюється відцентровим вентилятором аспіратора, Па;

η_B – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

η_M – коефіцієнт корисної дії механічної передачі механізму приводу.

Проведемо оцінку необхідного тиску. Для цього зазначимо, що тиск складається із динамічного тиску в каналі, втрат на тертя та місцевих опорів. В свою чергу динамічний тиск дорівнює:

$$\Delta P_{\text{дин}} = \rho \cdot V^2 / 2.$$

Втрати на тертя складають:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \left(\frac{L}{D_2} \right) \cdot \left(\rho \cdot V^2 / 2 \right).$$

Та, відповідно місцеві опори можна визначити за формулою:

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \zeta \cdot \left(\rho \cdot V^2 / 2 \right).$$

Якщо врахувати умову, що $V = 6,5$ м/с, $\rho = 1,2$ кг/м³, отримаємо у числовому вигляді

$$\Delta P_{\text{дин}} = 1,2 \cdot 6,5^2 / 2 = 25,4 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{тр}} \approx 0,025 \cdot \left(\frac{2,5}{0,3} \right) \cdot 25,4 = 5,3 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{м}} \approx 4,0 \cdot 25,4 = 101,6 \text{ Па.}$$

Враховуючи проведені розрахунки, отримаємо повний тиск вентилятора, який становить:

$$\Delta P_{\text{повн}} = \Delta P_{\text{дин}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}} = 25,4 + 5,3 + 101,6 = 132,3 \text{ Па.}$$

Потужність вентилятора складає:

$$N_B = \frac{3276 \cdot 132,3}{3600 \cdot 0,65 \cdot 0,92} = 201 \text{ Вт} = 0,20 \text{ кВт.}$$

Потужність шнека для транспортування легких домішок, яких у вихідній зерноsumіші може бути 2...3%, тобто фактично шнек має забезпечувати продуктивність 0,3 т/год. Для розрахунку потужності шнека легких домішок можемо скористатися формулою:

$$N_{III} = \frac{Q_{III} \cdot L_{III} \cdot k_{mp}}{367 \cdot \eta},$$

де Q_{III} – продуктивність шнека домішок, $Q_{III} = 0,3$ т/год;

L_{III} – довжина шнека легких домішок, яка узгоджується із шириною аспіраатора, $L_{III} = 1,3$ м;

k_{mp} – коефіцієнт опору, $k_{mp} = 1,5$;

η – коефіцієнт корисної дії шнека легких домішок, $\eta = 0,85$.

Підставивши цифрові значення, отримаємо:

$$N_{III} = \frac{0,3 \cdot 1,3 \cdot 1,5}{367 \cdot 0,85} = 0,0019 \text{ кВт} \approx 2 \text{ Вт.}$$

Тоді загальна споживана потужність аспіраатора складає:

$$N_{заг} = \frac{N_B + N_{III}}{\eta_{де}} = \frac{0,20 + 0,002}{0,85} = 0,24 \text{ кВт.}$$

Встановлена потужність електродвигуна $N = 4,0$ кВт має значний запас (коефіцієнт запасу $k_{зап} = 4,0/0,24 = 16,7$), що забезпечує:

- надійну роботу в пускових режимах електродвигуна;
- можливість підвищення продуктивності аспіраатора;
- роботу при збільшеній засміченості зернового матеріалу;
- компенсацію втрат в механічних передачах аспіраатора.

3.3. Аналітичне моделювання руху компонентів насіння ріпаку в пневмосистемі аспіратора АСХ-10

Фізико-математична модель руху частинок

Система диференціальних рівнянь для руху частинки в прямокутному пневмосепаруючому каналі у двовимірному просторі (площина ХОУ):

Вертикальна координата (вісь ОУ, напрямок вгору):

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = -m \cdot g + F_{dy} + F_{ay}.$$

Горизонтальна координата (вісь ОХ):

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{dx},$$

де $F_{dy} = \frac{(c_d \cdot \rho_n \cdot S \cdot (u_y - V_y) \cdot |u_y - V_y|)}{2}$ – вертикальна складова сили опору;

$F_{dx} = \frac{(c_d \cdot \rho_n \cdot S \cdot (u_x - V_x) \cdot |u_x - V_x|)}{2}$ – горизонтальна складова сили опору;

$F_{ay} = \rho_n \cdot V_u \cdot g$ – сила Архімеда.

Прийmemo початкові умови (точка введення матеріалу):

$$t = 0; \quad x = x_0; \quad y = y_0 = H_k;$$

$$V_x = 0; \quad V_y = 0.$$

Граничні умови:

- якщо $y \rightarrow 0$, частинка досягає нижньої частини каналу (очищене насіння);
- якщо $y \rightarrow H_k$ при $x \rightarrow L_k$, частинка виноситься у рециркуляційний канал (легкі домішки);
- при контакті зі стінками ($x = 0$ або $x = a$) відбувається відбиття частинки з коефіцієнтом відновлення $k_\theta = 0,3 \dots 0,5$.

Профіль швидкості повітряного потоку в прямокутному каналі

Розподіл швидкості повітря у турбулентному потоці описується степеневим законом:

$$u_y(x, z) = u_{max} \cdot \left[1 - \left(\frac{2x}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{n}} \cdot \left[1 - \left(\frac{2z}{b} \right)^2 \right]^{\frac{1}{m}}$$

де u_{max} – максимальна швидкість потоку повітря у центрі каналу;

n, m – показники степеня, так для турбулентного повітряного потоку можна прийняти $n = m = 7$;

a, b – відповідно ширина та глибина пневмоканалу (розміри поперечного перерізу).

Середня швидкість:

$$u_{сер} = u_{max} \cdot \alpha,$$

де $\alpha = 0,817$ – для показника степеня $1/7$.

Коефіцієнт нерівномірності складає:

$$k_{нерівн} = \frac{u_{max}}{u_{сер}} = \frac{1}{\alpha} = 1,224.$$

Критичне значення для траєкторій частинок. Частинки, що рухаються поблизу стінок каналу, зазнають впливу меншої швидкості повітряного потоку (до 20...30% нижче середньої). Це призводить до:

- нерівномірності виділення домішок за шириною каналу;
- підвищених втрат основного насіння біля стінок аспілятора;
- можливості проскакування легких домішок у центральній зоні ПСК.

Для ріпаку з його малим розміром частинок ($d = 2$ мм) ефект нерівномірності виражений сильніше, оскільки час релаксації (час виходу на рівноважну швидкість) є меншим:

$$\tau = \frac{\rho_q \cdot d^2}{18 \cdot \mu},$$

де $\mu = 18 \cdot 10^{-5}$ Па·с – динамічна в'язкість повітря.

Розрахуємо відповідно для ріпаку $d = 2$ мм і для пшениці $d = 4$ мм, маємо:

$$\tau_{pin} = \frac{1100 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = 0,0136 \text{ с.}$$

$$\tau_{\text{ни}} = \frac{1200 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{18 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}} = 0,0593 \text{ с.}$$

Таким чином, доведено, що насіння ріпаку у 4,4 рази швидше реагує на зміни швидкості повітряного потоку, що робить процес повітряного очищення суміші більш чутливим до нерівномірностей профілю швидкості потоку повітря.

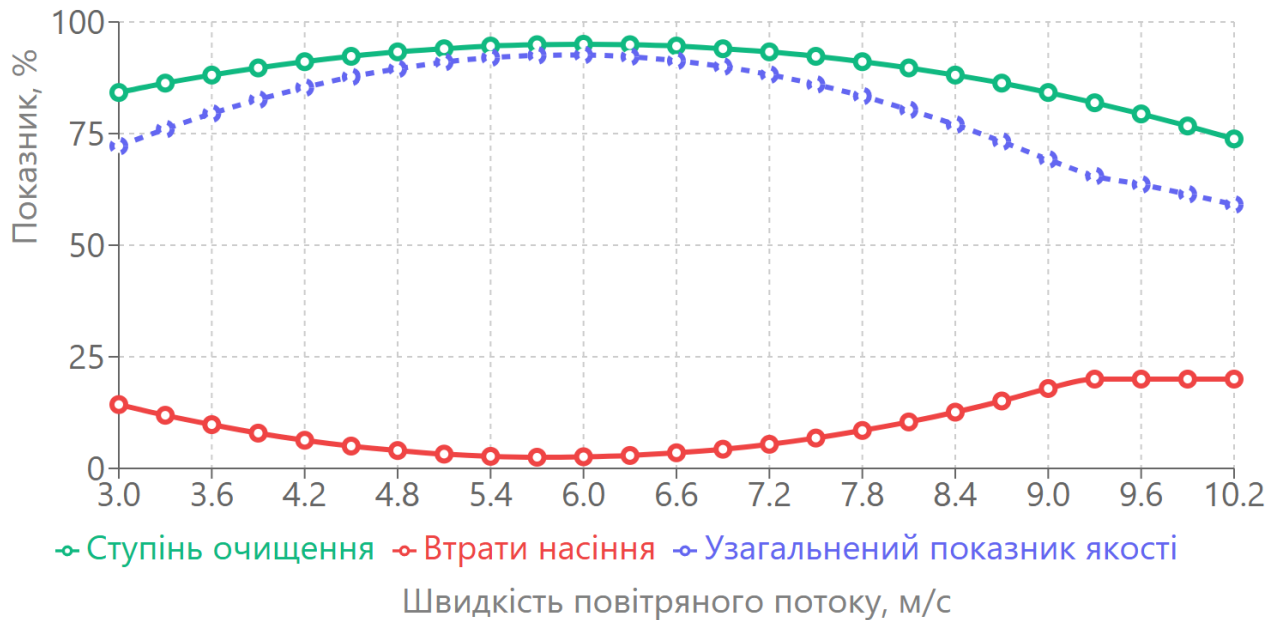


Рис. 13. Залежність ефективності очищення та втрат насіння від швидкості потоку

4. Практична реалізація результатів досліджень

4.1. Оптимізація роботи пневмосепаруючого каналу аспіратора

При роботі аспіратора АСХ-10 із дрібнозерновим насінням, зокрема ріпаком, є можливість за рахунок активної задньої стінки каналу зменшити площу його перерізу. Встановлено, що для очищення ріпаку (рис. 13) раціональне значення швидкості повітряного потоку в активній зоні пневмоканалу має складати $V_{opt} = 6,0$ м/с а при продуктивності $Q_B = 3276$ м³/год необхідна площа каналу складає:

$$S_{нов} = \frac{Q_B}{(V_{opt} \cdot 3600)} = \frac{3276}{(6,0 \cdot 3600)} = 0,151 \text{ м}^2.$$

Таким чином рекомендовані наступні розміри пневмосепараційного каналу аспіратора при співвідношенні сторін $k = 4 - 5$.

Варіант А $a \times b = 800 \times 190$ мм $S = 0,152$ м².

Варіант Б: $a \times b = 750 \times 200$ мм $S = 0,150$ м².

При зменшенні перерізу активної зони пневмосепаруючого каналу аспіратора досягається наступне:

- підвищення швидкості повітряного потоку без зміни частоти обертання вентилятора з 3,76 до 6,0 м/с (+59%);
- покращення ефективності сепарації дрібнозернового насіння, так для ріпаку ефективність повітряного очищення підвищилася із 60-65% до 92-95%;
- зниження втрат повноцінного насіння ріпаку у відходи (поліпшення чіткості сепарації) з 8-10% до 3-5%.

З метою поліпшення повітряного розділення компонентів насінневої суміші рекомендується у верхній частині каналу аспіратора (зона введення матеріалу) встановлювати 3...4 каскадні полицки під кутом $\alpha = 35...40^\circ$ до горизонталі з вертикальним зміщенням $h = 150...200$ мм.

Функції каскадних полицок в каналі аспіратора наступні:

1. Рівномірний розподіл насіннєвого матеріалу по ширині пневмосепаруючого каналу.
2. Розпушування грудок та конгломератів вороху насіння.
3. Попереднє виділення повітряним потоком найлегших домішок із збіжжя вже в зоні введення матеріалу в пневмоканал.
4. Зниження швидкості введення насіння для плавного входу в повітряний потік, що продовжує перебування компонентів суміші в зоні очищення.

Моделювання руху частинки зерноsumіші по похилій полиці аспіратора

При русі по полиці під кутом α частинка має прискорення:

$$a = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha),$$

де μ – коефіцієнт тертя насіння ріпаку по металевій поверхні, $\mu = 0,35 \dots 0,45$.

За умови, що кут $\alpha = 38^\circ$, отримаємо:

$$a = 9,81 \cdot (\sin 38^\circ - 0,40 \cdot \cos 38^\circ) = 9,81 \cdot (0,616 - 0,315) = 2,95 \text{ м/с}^2.$$

Швидкість в кінці полиці довжиною $L_n = 0,3$ м становить:

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot L_n} = \sqrt{2 \cdot 2,95 \cdot 0,3} = 1,33 \text{ м/с}.$$

Така швидкість забезпечує плавний вхід насіння в повітряний потік без ударів та пошкодження ріпаку.

Очікуваний ефект від встановлення у зоні введення матеріалу полицок:

- підвищення рівномірності розподілу матеріалу на 30...35%;
- попереднє виділення 10...15% домішок, які можна найшвидше виділити відразу в зоні їх введення;
- зниження пошкодження насіння ріпаку на 20-25%.

Вдосконалення осадової камери аспіратора АСХ-10

Враховуючи те, що в роботі аспіратора використовується замкнена схема циркуляції повітряного потоку, слід забезпечити швидке і ефективне виділення домішок в осадовій камері зерноочисного агрегату. Для цього запропоновано встановити заспокійливі решітки та виконати ступінчасте розширення камери.

В розрізі встановлення заспокійливих решіток запропоновано монтаж перфорованих решіток із круглими отворами діаметром $d_{оме} = 12...15$ мм із кроком $t_{оме} = 20...25$ мм встановлювати на вході в осадову камеру під кутом $15...20^\circ$ до горизонталі.

В такому випадку коефіцієнт живого перерізу становить:

$$\varphi = \frac{\pi \cdot d_{оме}^2 / 4}{t_{оме}} = \frac{3,14 \cdot 13^2 / 4}{22^2} = \frac{132,7}{484} = 0,274.$$

Зазначені решітки впливають на зміну швидкості повітряного потоку, так швидкість повітря після решітки, за умови, що коефіцієнт її живого перерізу складає $\varphi = 0,274$ дорівнює:

$$V_{нісля} = V_{до} / \varphi = 1,7 / 0,274 = 6,2 \text{ м/с.}$$

Після виходу з отворів відбувається різке розширення потоку та зниження швидкості до $V \approx 1,4...1,5$ м/с, але потік стає більш організованим.

Має місце і зниження турбулентності потоку. Так, інтенсивність турбулентності після решітки може бути знайдена за формулою:

$$T_{u.нісля} = T_{u.до} \cdot k_{ос},$$

де $k_{ос}$ – коефіцієнт заспокоєння повітряного потоку, $k_{ос} = 0,4...0,5$.

Підставивши дані, маємо:

$$T_{u.нісля} = 0,08 \cdot 0,45 = 0,036 = 3,6\%$$

Отже, встановлення в осадовій камері заспокійливих решіток забезпечує зниження інтенсивності турбулентності потоку повітря в пневмосистемі аспіратора з 8% до 3,6%, має місце підвищення ефективності осадження легких домішок (пилової фракції) з 37,5% до 65...70% та відбувається суттєве зниження повторної циркуляції домішок.

За умови виконання ступінчастого розширення осадової камери аспіратора, зокрема замість різкого розширення застосувати 2-ступінчасте розширення:

- перша ступінь: $S_1 = 1,5 \cdot S_k$ (коефіцієнт розширення $k_1 = 1,5$);

- друга ступінь: $S_2 = 2,3 \cdot S_1$ (коефіцієнт розширення $k_2 = 2,3$);
- загальний коефіцієнт розширення: $k_{заг} = 1,5 \cdot 2,3 = 3,45$.

Розподіл швидкостей:

$$V_k = 6,0 \text{ м/с} \rightarrow V_1 = 4,0 \text{ м/с} \rightarrow V_2 = 1,74 \text{ м/с}.$$

До переваг, що їх забезпечує двоступінчасте розширення осадової камери аспіратора можна віднести зниження гідравлічних втрат на 25-30%; зменшення зворотних течій та вихрів; покращення умов осадження дрібних частинок; підвищення загальної ефективності зупинення легких компонентів на 8-12%.

Розрахунок системи вивантаження легких домішок

Загальну продуктивність шнека вивантажувача легких домішок можна визначити за формулою:

$$Q_{ш} = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \psi_{зап} \cdot \rho_{нас},$$

де D – діаметр шнека легких домішок, $D = 0,16$ м;

S – крок шнека, прийmemo $S = D = 0,16$ м;

n – частота обертання шнека, $n = 350$ об/хв = 5,83 об/с;

$\psi_{зап}$ – коефіцієнт заповнення шнека, для легких домішок прийmemo

$$\psi_{зап} = 0,25 \dots 0,35;$$

$\rho_{нас}$ – насипна щільність легких домішок, $\rho_{нас} = 180 \dots 250$ кг/м³.

Підставивши дані маємо:

$$Q_{ш} = 47 \cdot 0,16^2 \cdot 0,16 \cdot 5,83 \cdot 0,30 \cdot 200 = 75,4 \text{ кг/год} = 0,075 \text{ т/год}.$$

Необхідна продуктивність при засміченості насіннєвого матеріалу ріпаку на рівні 3% та продуктивності аспіратора до 10 т/год складає:

$$Q_{ш.необх} = 10 \cdot 0,03 = 0,3 \text{ т/год} = 300 \text{ кг/год}.$$

Коефіцієнт запасу:

$$k_{зап} = \frac{Q_{ш.необх}}{Q_{ш}} = \frac{300}{75,4} = 3,98.$$

Таким чином, розрахунки підтверджують, що існуючі параметри шнека легких домішок забезпечують недостатню продуктивність. Для роботи з

високозасміченим матеріалом необхідно або підвищити частоту обертання шнека або ж підвищити коефіцієнт заповнення.

У випадку збільшення частоти обертання шнека можемо записати:

$$n_{\text{нов}} = n \cdot k_{\text{зан}} = 350 \cdot 3,98 = 1393 \text{ об/хв.}$$

У випадку ж збільшення коефіцієнта заповнення шнека до $\psi_{\text{зан}} = 0,9 \dots 1,0$ необхідно встановити датчик рівня заповнення, виконувати автоматичне регулювання частоти обертання та забезпечити використання примусового завантажувача, наприклад лопатевого змішувача. Зазначені заходи по підвищенню коефіцієнта заповнення ускладнюють конструкцію аспіраатора, а тому найбільш просто для забезпечення необхідної продуктивності шнека домішок встановити частотно-регульований привід шнека з діапазоном регулювання $n = 200 \dots 1500$ об/хв.

Перевірочний розрахунок продуктивності аспіраатора

Продуктивність аспіраатора під час аеродинамічного розділення насіння сільськогосподарських культур дорівнює:

$$Q_{\text{мат}} = 3600 \cdot \rho_{\text{нас}} \cdot S_{\text{к}} \cdot V_{\text{к}} \cdot k_{\text{зан}}$$

де $\rho_{\text{нас}}$ – насипна щільність матеріалу, т/м³;

$k_{\text{зан}}$ – коефіцієнт заповнення пневмосепаруючого каналу.

Для пшениці ($\rho_{\text{нас}} = 0,78$ т/м³; $k_{\text{зан}} = 0,35$) маємо:

$$Q_{\text{ми}} = 3600 \cdot 0,78 \cdot 0,15 \cdot 6,0 \cdot 0,35 = 884 \text{ кг/год} \approx 8,8 \text{ т/год.}$$

Це близько до номінальної продуктивності аспіраатора АСХ-10 – 10 т/год (різниця 12% пояснюється мінімальним значенням $k_{\text{зан}}$).

Для ріпаку ($\rho_{\text{нас}} = 0,68$ т/м³; $k_{\text{зан}} = 0,30$) маємо:

$$Q_{\text{ріп}} = 3600 \cdot 0,68 \cdot 0,15 \cdot 6,0 \cdot 0,30 = 661 \text{ кг/год} \approx 6,6 \text{ т/год.}$$

За умови, коли під час очищення насіння ріпаку в зоні введення матеріалу встановлюватимуться каскадні полички, що забезпечать підвищення коефіцієнта заповнення пневмосепараційного каналу до $k_{\text{зан}} = 0,38$, продуктивність аспіраатора підвищиться і складатиме:

$$Q_{rip.покp} = 3600 \cdot 0,68 \cdot 0,15 \cdot 6,0 \cdot 0,38 = 837 \text{ кг/год} \approx 8,4 \text{ т/год.}$$

Отже, можна відмітити, що вдосконалення конструкції аспіратора АСХ-10 забезпечить якісну роботу агрегату за умов, що продуктивність на пшениці складає 8...10 т/год; на ріпаку – 6...8 т/год.

Розрахунок ефективності очищення насіння аспіратором

Теоретична ефективність зерноочисного агрегату визначається співвідношенням критичних швидкостей витання:

$$E_{теор} = \Phi \left(\frac{u - \mu_{дом}}{\sigma_{дом}} \right),$$

де Φ – функція нормального розподілу;

u – швидкість повітряного потоку в зоні сепарації насіння, для ріпаку прийmemo $u = 6,0$ м/с;

$\mu_{дом}$ – середня швидкість витання домішок, при повітряному очищенні ріпаку

$$\mu_{дом} = 3,5 \text{ м/с};$$

$\sigma_{дом}$ – стандартне відхилення, для домішок, що мають видалятися

$$\sigma_{дом} = 0,6 \text{ м/с.}$$

Таким чином, отримаємо теоретичну ефективність при очищенні насіння ріпаку:

$$E_{теор} = \Phi \left(\frac{6,0 - 3,5}{0,6} \right) = \Phi(4,17) = 0,999 \approx 100 \text{ \%}.$$

Реальна ефективність з урахуванням втрат дорівнює:

$$E_{реал} = E_{теор} \cdot (1 - k_{втр}),$$

де $k_{втр}$ – коефіцієнт втрат через нерівномірність потоку, $k_{втр} = 0,05...0,08$.

Враховуючи те, отримаємо реальну ефективність очищення:

$$E_{реал} = 0,9999 \cdot (1 - 0,06) = 0,94 = 94\%.$$

Втрати основного насіння ріпаку можна знайти за формулою:

$$П = \Phi \left(\frac{u - \mu_{нас}}{\sigma_{нас}} \right),$$

де $\mu_{нас}$ – середня швидкість витання насіння ріпаку, $\mu_{нас} = 5,8$ м/с;

$$\sigma_{нас} = 0,7 \text{ м/с.}$$

Отже, маємо:

$$P = \Phi\left(\frac{6,0 - 5,8}{0,7}\right) = \Phi(0,286) = 0,613.$$

Це завищене значення через симетричність нормального розподілу. Реально розподіл асиметричний з правим зсувом, тому:

$$P_{реал} \approx 0,03...0,04 = 3...4\% .$$

Узагальнений показник якості очищення аспіратором насіння ріпаку складає:

$$K_{як} = E \cdot (1 - P) = 0,94 \cdot (1 - 0,035) = 0,907 = 90,7 \text{ \%}.$$

5. Охорона праці

Забезпечення безпечних умов праці під час вирощування озимого ріпаку та проведення післязбирального очищення врожаю є важливою складовою технологічного процесу в аграрному виробництві. Особливу увагу необхідно приділяти роботі з зерноочисними агрегатами, зокрема з аспіратором АСХ-10, удосконалення якого розглядається в даній роботі. Зерноочисний агрегат працює із використанням інтенсивного повітряного потоку, який відокремлює легкі домішки від насіння ріпаку, а тому створює ряд потенційних небезпек, що потребують комплексних організаційних і технічних заходів із охорони праці.

Насамперед, під час експлуатації аспіратора необхідно враховувати дію рухомих елементів приводу, вентилятора та шнека для видалення домішок. Робочі органи агрегату обертаються з високою частотою, тому зони їхнього розміщення повинні бути закриті захисними кожухами згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 13857:2019. Обслуговування, огляд або очищення внутрішніх вузлів допускається лише після повного знеструмлення обладнання та блокування пускових пристроїв. Працівники повинні бути проінструктовані щодо безпечного виконання робіт підвищеної небезпеки та мати доступ до технічної документації на обладнання.

Під час виконання операцій із післязбирального очищення ріпаку слід враховувати високу ймовірність утворення пилу. Ріпак є дрібнозерною культурою, тому навіть при невеликому механічному впливу на насіння виникає значна кількість пилових частинок, які можуть створювати пилоповітряні суміші підвищеної вибухонебезпечності. Для зниження ризику запилення необхідно застосовувати локальну аспірацію, герметизацію технологічних вузлів та регулярне очищення приміщень від пилу. Розміщення аспіратора АСХ-10 має бути у вентилязованому приміщенні, де передбачено припливно-витяжну вентиляцію відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013.

Експлуатація електродвигуна, який приводить у дію вентилятор і шнек, потребує дотримання правил електробезпеки. Доступ до електрообладнання повинні мати лише працівники, які мають відповідну групу допуску. Корпус електродвигуна має бути заземлений, а електропроводка має перебувати у справному стані та відповідати нормам ПУЕ. Під час роботи необхідно регулярно контролювати нагрів електродвигуна, стан ізоляції, рівень шуму та вібрацій, що можуть вказувати на несправності.

Важливою складовою охорони праці є захист працюючих від шуму та вібрацій. Робота вентилятора аспіратора супроводжується підвищеним шумовим навантаженням, тому персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту (наушники або беруші). Рівень шуму в робочій зоні має відповідати нормативам ДСН 3.3.6.037-99. Для зниження вібраційного впливу агрегат необхідно встановлювати на жорстку основу з використанням амортизуючих прокладок, що також сприяє стабільності роботи пневмосепараційної системи агрегату.

Під час роботи з ріпаком існує ризик виникнення алергічних реакцій у працівників через контакт із пилом або леткими домішками. Для захисту органів дихання необхідно застосовувати фільтрувальні респіратори класу не нижче FFP2. Обслуговуючий персонал при роботі повинен використовувати спецодяг, захисні рукавиці та окуляри для запобігання потраплянню пилу в очі.

Особливу увагу слід приділяти пожежній безпеці. Скупчення дрібних частинок органічного походження, підвищена сухість насіння ріпаку та можливе перегрівання вузлів вентилятора створюють ризики займання. У приміщенні зерноочисного відділення необхідно передбачити вогнегасники типу ВВК, а також дотримуватися вимог ДБН В.1.1-7-2016 щодо протипожежного захисту.

Комплексне дотримання наведених заходів охорони праці дозволяє не лише забезпечити безпеку персоналу, а й підвищити надійність і стабільність роботи модернізованого аспіратора АСХ-10. Реалізація заходів з організації безпечного виробничого середовища сприяє ефективному застосуванню вдосконаленого обладнання у технології вирощування та післязбирального очищення насіння ріпаку.

6. Висновок

У процесі виконання магістерської роботи було досліджено стан та перспективи механізації вирощування озимого ріпаку в сільськогосподарських підприємствах Кіровоградщини, а також проаналізовано ефективність існуючих технологічних рішень, спрямованих на підвищення якості післязбирального очищення дрібного насіння. З огляду на високий попит на ріпак як експортно орієнтовану культуру, а також на постійне зростання вимог до чистоти посівного та товарного матеріалу, удосконалення технологічного процесу його післязбиральної дробки є актуальною науково-практичною задачею.

Комплекс проведених досліджень показав, що якість очищення дрібнозернових культур значною мірою залежить від аеродинамічних параметрів робочих потоків та конструктивних характеристик обладнання. Аналіз роботи існуючих пневмосепараторів засвідчив, що моделі типу АСХ демонструють прийнятний рівень очищення, однак потребують оптимізації для ефективної роботи з ріпаком, який характеризується малою масою 1000 насінин, високою сипучістю та підвищеним пиловиділенням.

З метою підвищення продуктивності та стабільності сепарації було детально досліджено конструкцію аспіратора АСХ-10. Проведені конструкторсько-технологічні розрахунки підтвердили, що застосування

модернізованого джерела повітряного потоку та приводу робочих органів дозволяють отримати стабільний і рівномірний повітряний потік, необхідний для точного відокремлення легких домішок із ріпаку. У результаті виконаної роботи доведено, що підвищення ефективності післязбирального очищення ріпаку є головним елементом інтенсифікації технології його вирощування. Вдосконалений аспіратор АСХ-10 здатний забезпечити стабільно високий рівень очищення дрібнозернових культур, що, в свою чергу, підвищує якість продукції та економічну ефективність агровиробництва.

Математичне моделювання процесів руху компонентів суміші в прямокутному пневмосепарувальному каналі виявило критичну залежність ефективності розділення від рівномірності профілю швидкості повітряного потоку, особливо для дрібних частинок з малим часом релаксації.

Аналіз процесу осадження показав, що базова конструкція осадової камери забезпечує лише 37,5% ефективність осадження за один прохід внаслідок високої турбулентності потоку та недостатньої довжини зони осадження.

Запропонований комплекс вдосконалень, що включає модернізацію діаметрального вентилятора (збільшення кількості лопаток до 24), оптимізацію геометрії пневмосепаруючого каналу, встановлення каскадних розподільників та заспокійливих решіток, що забезпечує підвищення ефективності очищення ріпаку з 60-65% до 92-95% при одночасному зниженні втрат повноцінного насіння з 8-10% до 3-4%.

Результати дослідження мають практичне значення для підприємств, що займаються післязбиральною обробкою дрібнонасіньних олійних культур та дозволяють ефективно адаптувати існуюче обладнання до специфічних вимог технології їх очищення без значних капітальних витрат.

Підсумовуючи результати проведених досліджень, можна стверджувати, що впровадження сучасних пневмосепараторів типу АСХ, зокрема модернізованого у межах даної магістерської роботи аспіратора АСХ-10, є перспективним напрямом для господарств Кіровоградщини. Це дозволяє інтенсифікувати технологію вирощування ріпаку, мінімізувати післязбиральні втрати, підвищити конкурентоспроможність продукції та забезпечити стабільні показники якості врожаю в умовах сучасного аграрного виробництва.

Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 47 с.
2. Секун М.П., Лапа О.М. та ін. Технологія вирощування і захисту ріпаку. – Київ: ТОВ "Глобус-Принт", 2008. – 116 с.
3. Технологія виробництва продукції рослинництва: Навч. посіб. Ч.2 / Мельник С.І., Муляр О.Д., Кочубей М.Й., Іванцов П.Д. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 405 с.
4. Технологія вирощування ріпака ярого в Лісостепу України / В.О. Єщенко, Г.І. Каричковська, А.В. Новак [та ін.]; за ред. В.О. Єщенка. – Умань: Сочінський, 2010. – 275 с.
5. Технологія вирощування та використання ріпака: рекомендації / Інститут хрестоцвітних культур УААН, Науково-виробнича система "Ріпак"; підгот. Т. В. Мельничук. – Івано-Франківськ, 1996. – 35 с.
6. Озимий та ярий ріпак / І.Д. Ситнік [та ін.]; ред. І.Д. Ситнік: Національний аграрний ун-т. – К.: Знання України, 2005. – 83 с.
7. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
8. Єщенко В.О. Загальне землеробство / Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П. та ін. – К.: Вища школа, 2004. – 335 с.
9. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.

10. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
11. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В.М. Сало, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 170 с.
12. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
14. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
15. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
16. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
17. Сисолін П.В., Петренко М.М., Свірень М.О. Сільськогосподарські машини / Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 3. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння// За ред. М.І. Черновола. – К.: Фенікс, 2007. – 432 с.
18. Васильковський О.М. Моделювання процесів сепарації зернових матеріалів у повітряному потоці / О.М. Васильковський, В.О. Швидя // Техніка та енергетика АПК. – 2020. – № 2(109). – С. 65-72.
19. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.2. Зерноочисні машини / П.М. Заїка. – Харків: ОКО, 2017. – 416 с.

20. Корнєв О.Ю. Аеродинамічні властивості насіння сільськогосподарських культур / О.Ю. Корнєв, М.В. Бакум // Інженерія природокористування. – 2016. – № 1(5). – С. 102-107.
21. Сторожук В.Ф. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючих каналів зерноочисних машин / В.Ф. Сторожук, Д.І. Мазоренко // Вісник ХНТУСГ. – 2016. – Вип. 170. – С. 91-98.
22. Тарасенко О.П. Сучасні зерноочисні машини: конструкція та ефективність використання / О.П. Тарасенко, В.І. Оробінський. – Київ: Аграрна наука, 2019. – 320 с.
23. В.П. Ольшанський, В.В. Бредихін, В.М. Лук'яненко, М.В. Півень, М.В. Сліпченко, С.О. Харченко. Теорія сепарування зерна. – Харків: ХНТУСГ, 2017 – 803 с
24. Тишаніном Ю.В. Дослідження процесу сепарації зерна в повітряному потоці / Ю.В. Тишаніном, В.П. Ковбаса // Науковий вісник НУБіП України. – 2017. – Вип. 258. – С. 346-354
25. Деталі машин: курс лекцій / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, О.П. Цьонь. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 160 с.
26. Іванчук А. В. Деталі машин: Навч. посібник / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
27. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сакун, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності. – Одеса: «Видавництво», 2009. – 184 с.
28. Основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, С.М. Богомаз-Назарова. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард", 2017. – 156 с.